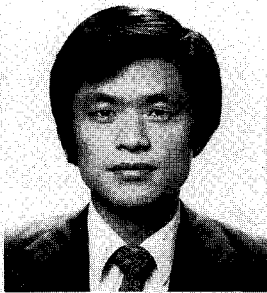


석면 (Asbestos)

“

석면가루에 폭로될 경우
피부질환, 호흡기질환을
유발시키고, 특히
직업적으로 폭로되었을 경우는
석면증 또는 폐암을
발생시키는 확률이
높은 것으로 나타났다.
이것은 석면이
상업적으로 중요한 형태를
이루고 있다는 것을
시사하는 것이다.

”



金潤信
(한양대 의과대학 부교수)

“석면”은 여러가지 광물섬유나 asbestiform 형태에 대한 집합적 용어이다. 굴절성이나 강도, 지속성과 같은 특성은 많은 사람들이 잠정적으로 폭로되는 것과 연관이 있는 다양한 용품들에 내포되어 있는 광물섬유들로부터 오는 것이다.

폭넓은 사용으로 인해 노출되어 생기는 건강상 영향을 조사하는 것이 많아지는 것은 석면이 환경오염물질로서 인식되어 그에 따른 관심이 고조되고 있기 때문이다.

Asbestiform minerals이 건축자재, 소비물품, 가정용품 등에 다양하게 사용되어 왔기 때문에, 일반 생활환경이 석면오염과 인체 노출 조사분야가 되었다.

건축물에서 이러한 형태의 물질들이 건축되는데 쓰이고 수리, 파괴, 심지어는 정상적인 사용으로 인한 잠정적인 오염에 대해 언급하였다. 주방기기, 난방로, 스토브 그리고 석면시멘트파이프를 수리하거나 사용함으로 인해 대기중에 섬유들이 방출되는 결과를 낳는 것이다.

I. 석면에 대한 정의

사문석(蛇紋石)과 각섬석(角閃石)으로 분류되는 광물규산염이 자연적으로 발생하고 화학적으로 다양하게 사용되고 있는 “석면”은 굴절성이 있고 불연성인 물질섬유로 분리하고 있으며, 대개 가 길이와 직경의 비가 크다. 이들 석면이나 asbestiform, 광물섬유들은 장력강도와 열과 전기적인 절연성이 크고 화학적으로 분해가 잘 되지 않는다. 상업용 석면광물로 폭로시 중요하게 작용하는 것은 석면광물중에서 각섬석그룹과 사문석의 귀감람석(貴橄欖石)이다 : amosite, crocidolite, anthophyllite and actinolite-tremolite.

II. Asbestiform mineral fibers의 중요특성

지속성, 공기중에 존재하는 시간 그리고 섬유 크기에 대한 특성들은 폭로되어 생물학적으로 작용하는 잠정적인 영향을 결정하는데 있어서 특히 중요하다.

1. 지속성(durability)

Asbestiform fibers는 거의 모든 용도·기구 그리고 인체조직내에서 자연적인 본래의 모습을 유지하고 있다.

2. Potential to Remain Airborne

이러한 잠재성은 노출가능성에 작용하는 영향이 크다. Settling Velocity는 섬유직경에 상당히 의존하고 섬유길이에는 별 영향을 받지 않는다.

높이 3m인 방에서 길이 $5\mu\text{m}$ 이고 직경이 $1\mu\text{m}$ 인 섬유가 공기중에서의 Settling은 거의 4시간동안 airborne으로 남아있게 된다. 길이는 같고 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 인 섬유의 경우 20시간 정도까지 airborne으로 남아 있다. 이러한 Settling time은 turbulent air에서는 더 길어질 수 있고, 다른 부유입자들처럼 섬유들도 기류에 의해 이동될 수 있다. 분열이 발생하는 자연적인 힘은 공기중의 지속성이 증가되고 좀더 작은 직경을 가진 입자들이 모여 있는 곳에서는 섬유묶음이나 섬유들의 현저한 길이분열이 원인이 되는 것이다.

그러나, 환경에서 자연적인 힘에 의한 섬유의 분열정도는 모르고 있다.

3. Fiber dimension

호흡기계에서 섬유침착과 머무름은 섬유크기와 호흡상태, 공기중의 섬유농도에 의존한다. 사람의 폐에 남아있는 대부분의 섬유들은 $5\mu\text{m}$ 보다 짧으며, 대략적으로 직경이 $2.5\mu\text{m}$ 이하이지만, $200\mu\text{m}$ 에 상당하는 일부 얇은 섬유들이 폐에서 발견되기도 한다.

III. Asbestos production and application

1. Uses

물건을 오래 사용하기 위해서 지속성이나 굴절성, 강도 그리고 저항과 같은 특성들은 수천개의 용품들에 있는 asbestiform minerals에 기인한다. 이들은 roofing and flooring products와 textiles, papers and felts, friction materials, filters and gaskets, cement, panels, pipes, sheets, coating mate-

rials 그리고 thermal and acoustic insulation에 사용되고 있다.

석면생산은 증기기관의 열전연체로 사용되었던 19세기 후반에 시작되었다. 세계적인 생산은 기본적인 섬유형태인 귀감람석으로 연간 거의 5백만톤에 이르고 있다.

2. Production

미국의 대략적인 석면소비량은 1979년에 600,000 tons이었고, 2000년에는 400,000~900,000tons으로 예상하고 있다.

미국에서 사용된 석면의 90%이상이 수입되었고, 수입된 석면의 90%이상이 캐나다산 귀감람석이다. 석면의 70%이상은 건축산업에 사용되었다.

3. Spray application

건축산업에 사용되는 모든 용도들중에서, 건축표면에 분무되는 석면은 오염을 일으킬 수 있는 상황을 발전시키는데 있어 가장 중요하다.

이와같은 분무식 자재는 손의 압력에 의해 분열되거나 가루가 되기 쉽다.

분무식 자재는 불이 난동안에 모양이 변하는 것을 지연시키기 위해 강철제품과 thermal and acoustic insulation, decoration, condensation control용의 기타 건축표면에 광범위하게 사용되어졌다.

분무용 석면섬유는 1930년에 시작되어 mechanical support 사용이나 여러 준비작업없이 불규칙한 표면을 빠르게 covering하였다.

미국에서 초기의 spray applications는 주로 장식용과 acoustic insulation이었다.

1950년 Underwriters Laboratories에서는 고층건물에서 불이 났을 때 강철의 모양이 변하는 것을 방지하는데 필요했었던 콘크리트에 분무용 석면을 사용해야 한다는 것을 입증하였다. 이와같은 입증으로 새로운 건축물에 sprayed asbestos가 넓게 사용되었다.

그러나, 석면노출로 인한 인체유해성에 대한 증거가 축적되었다.

1972년, New York City Council에서는 spray

operators와 construction workers 그리고 일반 대중들의 인체에 해롭기 때문에 asbestos spray application을 금지시켰다.

Asbestos-Contamination control 에 실패한 후, 1973년 EPA에서는 건축용 절연재나 내화재로 Sprayed asbestos application에 대한 금지령을 내렸다. Decorative materials 와 some heavy mix materials는 금지령에서 제외되었다.

1978년 7월, EPA에서는 건조한 후에 잘 부서지지 않는 석면섬유로 된 분무용 재료와 분무하는 동안 역청질의 접합재나 수지를 함유한 접합재로 싸여있는 석면섬유로 된 분무용 재료를 제외하고는 금지시켰다.

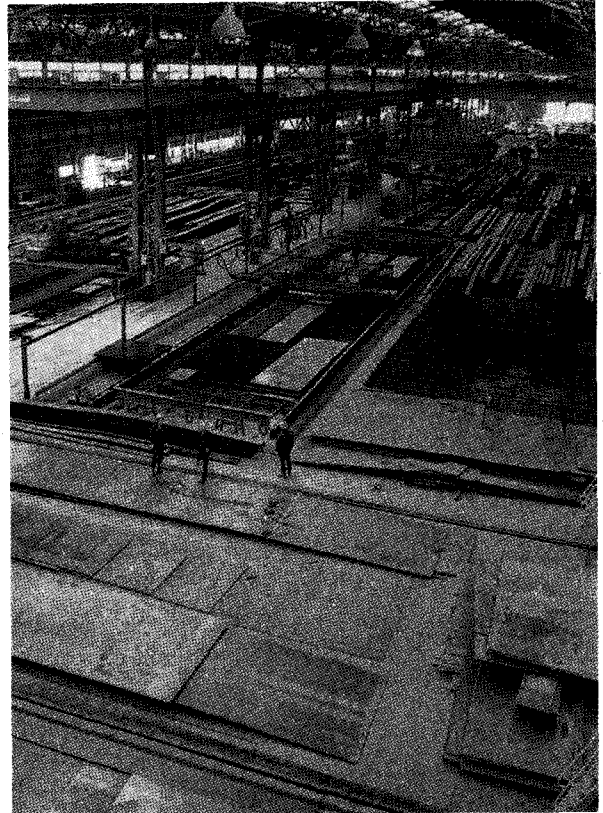
28년 동안에 걸쳐 분무된 석면이 내포된 재료들의 전체 양을 대충 계산하면 500,000tons 정도이다.

석면이 포함된 재료를 건축에 spraying하는 것은 그만 두었을지라도, 이미 건축물에 존재하고 있는 가루가 되기 쉬운 재료는 asbestos-fiber source로서 널리 퍼져 있어 실내오염을 일으키는 잠재적인 원인이 되고 있다.

IV. 석면에 의한 오염

현재 사용되고 있는 대다수(80%이상)의 석면은 시멘트와 타일과 같은 강력한 건축자재로 고정되어 있다. 그러나, 석면이 내포된 어떠한 자재들은 분열이 심할 때 섬유들이 방출될 것이고, 견고한 자재들은 만약에 가루로 되거나 모래로 덮여 있을 때 또는 절단되어진다면 섬유들을 유리시킬 것이다.

가루가 되기 쉬운 자재들은 건축물에 있어 석면 오염의 가장 중요한 원인이 되고 있다. 부서지기 쉬운 자재들은 open and visible ceiling과 walls 그리고 structural members에서 볼 수 있고 또 maintenance와 renovation 혹은 환기되는 공기흐름에 영향을 받기 쉬운 hidden surfaces에서도 볼 수 있다. 이와같은 자재에 있는 석면의 비율은 일반적으로 중량으로 보면 10-30%이지만 축적된 양은 거의 100%로 다양하다.



섬유를 이루는 구성물질로는 섬유유리(fibrous glass), 광물면(mineral wool), 셀룰로스로 되어 있다.

석면이 포함된 자재로부터 환경오염은 세가지 일반적인 방법에서 발생할 수 있다: Fallout(방사성낙진), contact disruption(접촉으로 인한 붕괴), 이전에 방출되어 이미 자리를 잡은 상태에서의 재붕괴.

아주 부서지기 쉬운 자재를 제외하고 방사성낙진은 무시할 정도이다. 접촉붕괴와 reentrainment의 경우는 환경을 오염시키는 정도가 많아서 결과적으로 오염과 폭로의 결과를 초래할 수 있다.

섬유들은 사람이 살고 있는 공간에 비교적 낮은 속도로 침입하여 자재의 부서지는 가능성과 노출되고 있는 표면적에 의존한다.

방사성낙진에 대한 변화량은 건축물의 진동과 기류, 응집되는 힘의 변화에 그 원인이 있다. 방사성낙진은 섬유들이 오랜시간동안 표면침착이 축적되어 발생되는 것이다. 이러한 축적이 이후의

disturbance와 reentrainment를 용이하게 한다.

만약 여기에 적용되는 에너지가 충분하다면 석면이 포함되어 있는 어떠한 자재들이라도 섬유들을 방출하게 될 것이다. 접촉은 파괴나 수리 혹은 vandalism이 일어나는 동안에 고의적일 수 있으며, maintenance하는 동안에는 피할 수 없는 일이 되고 의례적인 움직임이 있는 동안에는 뜻하지 않은 경우에 생기는 것이다.

섬유방출이 생기는 것은 접촉 가능성과 에너지에 의존되는 것이다. 방출되어 축적된 섬유들의 고란은 settling의 반복되는 순환이나 재부유의 원인이 될 수 있다.

V. Asbestos air data

여러가지 형태의 석면물질을 포함한 건축물과 일련의 활동조건 아래서 연구들이 이루어졌다. Table 1과 2는 광학현미경과 전자현미경을 사용하여 얻은 공기중에 존재하는 섬유농도의 데이터 목록이다. 거의 모든 데이터는 아파트나 일반가정, 사무실 및 학교로부터 수집한 것이다.

공기중에 떠있는 섬유의 농도는 광학 현미경을 이용하여 결정되었으며, 그 범위는 background상태와 한적한 상태, 일부 일상적인 움직임인 zero에서부터 건조한 천장재가 마멸된 100fibers/m l

표 1 Airborne Asbestos in Structures: Optical Data

Main Mode of Contamination	Activity	Mean Count, fibers/ml	n	Range or SD	References
<u>Friable asbestos-containing material :</u>					
Mixed fallout	Background, city	0.0	42	0.0	32,33
	Quiet conditions	0.0	65	0.0	32,33
Reentrainment	Routine activity:				
	Dormitory	0.1	10	0.0-0.8	a
	Schools, general	0.0	79	0.1	32,33
	Offices	0.0	60	0.0-0.6	32,33
	Dry sweeping, floor	1.6	5	0.7	33
	Dry dusting near face	4.0	6	1.3	33
	Bystander to cleaning	0.3	3	0.3	33
	Heavy dusting	2.8	8	1.6	36
	Laundry(contaminated clothing)	0.4	12	0.0-1.2	33
Contact with material	Maintenance:				
	Relamping	1.4	2	0.1	33
	Plumbing	1.2	6	0.1-2.4	32
	Cable movement	0.4	24	0.2-6.4	32
Mixed:contact reentrainment	Ronovation:				
	Ceiling repair	17.7	3	8.2	32
	Track light	7.7	6	2.9	33
	Hanging light	0.3	12	0.8	33
	Partition construction	3.1	4	1.1	33
	Pipe lagging	4.1	8	1.8-5.8	36
Contact	Ceiling damage by vandalism	128	5	8.0	32
	Stripping dry ceiling material	822	11	22.4-117.0	33
	Stripping wet(amended water) ceiling material	1.2	96	5.2	32,33*
	Drilling, machining	3.4	7	1.0-5.8	32
	Abatement by eneapsulation	0.0	28	0.7	32
<u>Bonded asbestos-containing material</u>					
Contact	Stripping cementitious by wet method(amended water)	0.1	26	1.0	32
	Machining:				
	Sanding tiles	1.2	2	1.2-1.3	20
	Sanding concrete	7.2	6	2.1	32
	Cutting concrete	6.3	14	2.3	32
	Grinding concrete	0.3	6	0.2	32
	Sanding taping	5.3	11	1.3-16.9	30

*H. V. Brown, personal communication.

Source : Indoor Pollutoms National Academy press washington, D. C. 1981

〈표 2〉 Airborne Asbestos: Electron-Microscopy Data

Location and Activity	Mean, mg/m ³	n	Range, mg/m ³	Reference
Urban outdoors:				
48 U. S. cities	<10	187	—	23
N. Y. City	17	22	2-65	25
N. J. schools	14	3	3-30	25
Indoors:				
Friable-asbestos:				
structural surface:				
Office building	79	3	40-110	36
N. Y. City schools	99	5	9-135	24
Mass. schools	151	5	38-260	24
N. J. schools	217	27	9.1-950	25
Office buildings	25-200	116	0-800	24
Custodial activity:				
N. J. apartment	296	1	—	36
Conn. school	643	2	186-1,100	36
N. J. school	1,950	1	—	25

Source: Indoor Pollutants National Academy Press Washington, D.C.

에 이르고 있다. 섬유오염으로부터 activity와 proximity와의 관계를 예상하게 한다.

Table 2에 있는 데이터는 mg/m³로 표시되어 있고 전달전자현미경(transmission electron microscopy)를 사용하여 얻어진 것이다. 그래서 이들은 섬유화된 석면인지 섬유가 아닌 석면인지 구별할 수 없을 뿐만 아니라, 섬유들의 길이가 긴지 짧은지도 구별할 수가 없다.

Table 2에 있는 mass-concentration data로부터는 건강상 중요함을 알아보는 것이 불가능하다.

방법론상의 기준과 노출기준 그리고 fiber number concentration과 mass-concentration이 관계하여 이용되는 역학적인 자료가 부족한 편이다.

전자현미경을 사용하여 얻은 결과들의 범위는 zero에서 부터 거의 2,000mg/m³에 이르기까지 다양하다.

오염이 되는 데에는 background상태에서 부터 일상적인 움직임과도 같은 과정을 거쳐 나가는 경과가 있는 것이다.

건물내에서의 활동과 오염방식을 고려하면 어느 정도까지는 노출가능성을 측정할 수 있다. 한적하거나 background 상태라는 것은 석면을 접촉하거나 reentrainment로 인한 가능성이 적어서 면적안에서는 일상적인 정도의 움직임을 나타내는 것이다. 이러한 조건하에서의 오염정도는 낮은 편

이다. 분무된 석면을 내포하고 있는 건축물에서 일상적인 움직임으로는 섬유농도들을 대개 알아낼 수 있는 결과를 초래하지는 않는다.

석면표면에 근접할 수 있는 건물에서 학교에 있는 사람들의 일상적인 움직임이 환경오염의 원인이 될 수 있다. 이와같은 조건아래서 방사성낙진과 경우에 따른 접촉 그리고 reentrainment가 많아지면 섬유농도가 여러가지로 높게 나타날 수 있다. custodial work는 석면 섬유가 축적되는 것을 방지하는 것으로 혹은 reentrainment의 원인이 될 수도 있다.

Reentrainment는 청소하는 방법에 의존하는 custodial activity일 동안에 높아질 수 있다.

Maintenance work는 석면표면을 직접 접촉하는 것과 연관이 될 수 있다. 이러한 활동들로 인해 섬유의 현저한 산포결과를 일으킬 수 있다.

Renovation하는 동안에 분무된 석면 표면을 제어하지 않고 이동시키는 것은 그 일이 지속되는 시간동안 섬유의 농도를 높게 하는 원인이 될 뿐만 아니라 방출된 석면을 건축물내에 쌓이는 것을 가중시킨다.

이와같은 경우에, 노출은 renovation worker와 일반 건물 사용자에게 일어난다.

석면을 제거하기 위해 건물수리에 대한 결정을 내리기 전에, 수리를 하는 동안이나 그 이후에 일어날 수 있는 오염을 평가해 보아야 한다.

접촉으로 인해 방출되는 메카니즘과 reentrainment로 방출되는 메카니즘을 관련지어 볼 때, 농도가 매우 높게 나타나는 것은 실질적인 접촉이 있을 때이다.

VI. Health Effects

섬유화된 건축자재로 인해 인체에 해로운 영향을 미치고 있는 것으로 알려진 것은 석면이다.

섬유성유리(fibrous glass)나 암석섬유(rock wool: 광석을 녹여 만든 섬유로 단열·보온·방음용)와 같은 기타 물질들이 더 광범위하게 사용되고 있지만 이것으로 인한 인간에게 미치는 영향은 거의 알려지지 않고 있다.

건강에 작용할 수 있는 잠재적인 영향에 대한 적당한 인식이 없는 가운데 섬유성 건축자재의 광범위한 사용이 계속되는 것은 공중위생에 대한 관심을 초래하고 있다. 이러한 것들의 생산이나 용도, 방출 그리고 제어에 관한 자세한 내용은 앞에서 이미 살펴보았다.

건강과 관련된 문제의 특성은 영향을 미치고 있는 기관지체계에 따라 다양하다. 섬유성 물질들은 피부에 접촉이 되므로 직접적인 영향을 미칠 수 있으며, 흡입되기 때문에 폐에 영향을 줄 수 있고 또 부주의한 섭취로 인해 gastrointestinal tract에도 영향을 미칠 수 있다. 더우기 hematogenous or lymphatic systems이 섬유들을 이동시킴으로 인해 인체의 모든 기관지가 영향을 받을 수 있다.

피부를 통해서 섬유물질이 어떠한 흡수력을 나타내는 것은 아니다.

섬유입자들이 침입되는 주요한 과정은 흡입으로 이루어진다. 침전되어 머무르는 것은 호흡기 생리현상의 요인들과 섬유크기에 의존하고 있다.

대부분 흡입되는 섬유물질은 mucociliary escalatory clearance mechanism에 의해 clear되고, 이것은 부주의한 소화에 있어서의 결과가 된다. 기타 흡입입자들은 폐속에 그대로 존재하여 축적되는 것이다.

일부 섬유들은 불확실한 경로를 거쳐 늑막으로 옮겨져서 머무르고 있다.

폐로부터 섬유가 위치를 이동시키는 것 역시 hematogenous and lymphatic systems를 통해 발생하는 것으로, 실질적으로 인체의 모든 기관안에 섬유들이 결과적으로 축적되는 것이다. 이와같은 체계에 의하거나 gastrointestinal system을 거쳐 보급되는 일부분은 알 수 없다. Gastrointestinal tract를 통해 생기는 분산은 동물에게서 분명히 확인되었다.

석면과 그 외의 섬유성 물질들은 체내로 들어온 후에 변형되는 것은 아니고, 섬유형태와 크기가 다양한 화학성분들을 용해하고 있다. 섬유들은 많은 기관에서 biologic residence를 흡수할 수 있으며, 대부분의 섬유들은 표면이 덮여지지 않은 상태로 존재하고 있다. 일부 섬유들은 iron-protein

모형으로 표면이 덮여 있고, 석면이 중심부 물질(core material)일 때에는 “석면체(asbestos body)”를 형성하고 있다. 이 때 중심이 확인되지 않을 때에는 “ferruginous body(쇠를 함유하는 조직체)”로 알려지고 있다. 구조가 변하고 성분이 변하는 것은 섬유들이 조직 특히 폐로 흡수된 후에 일어난다.

석면가루에 폭로될 경우 피부질환, 호흡기질환을 유발시키고 특히 직업적으로 폭로되었을 경우는 석면증(asbestosis) 또는 폐암을 발생시키는 확률이 높은 것으로 나타났다.

폐암은 석면에 직업적으로 노출되는 사람들 중에서 상당히 많이 발견되듯이 이것은 석면이 상업적으로 중요한 형태를 이루고 있다는 것을 시사하는 것이다. 종양은 항상 상기돌출부(upper lobes)에서 많이 발생했지만, 석면과 관련된 종양들은 석면증의 선(腺)세포 조직 변화 형태에 따라 하기돌출부(lower lobes)와 주변에 있는 경향이 있다. 세포 형태 분포는 석면과 관련된 암들을 변화시켜 나타나지 않는다.

VII. Summary

석면은 건축환경에서 광범위하게 사용되는 구성요소로서 석면형태의 광물섬유가 방출되는 것은 석면을 포함한 자재의 응집력과 교란되는 힘의 강도에 의존하는 것이다. 석면이 포함된 자재는 가루가 되기 쉬워서 건축물내에 가장 빨리 방출된다. 견고하게 되어 있는 자재로부터 석면섬유가 방출될 때 필요한 것은 높은 에너지와 초자연적인 분열이다. 대부분의 오염은 우발적이고 활동범위에 관계하며 국부적이다. 기록되고 있는 농도들은 현재 사용중이고 제안되는 직업상 기준과 비교되고 있다. 석면이 들어있는 자재가 광범위한 범위에서 분열되고 있는 것은 실질적으로 잠재적인 위험의 결과를 초래하는 것이다.

이와같이 석면이 환경내에서 상당한 오염을 일으킬 수 있는 요지를 내포하고 있으므로 그에 따른 위험성도 고려해야만 할 것이다. ◀